

H

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_

学号: X2006223027

UDC \_\_\_\_\_

廈門大學

工 程 碩 士 學 位 論 文

锅炉系统仪表故障检测与诊断

Fault Detection and Diagnosis on Boiler System

邱贇子

指导教师姓名: 刘瞰东 副 教 授

胡金水 高级工程师

专 业 名 称: 控 制 工 程

论文提交日期: 2009 年 11 月

论文答辩时间: 2009 年 11 月

学位授予日期: 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2009 年 11 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ☒ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于      年    月    日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年    月    日

厦门大学博硕士论文摘要库

---

## 摘 要

仪表及控制系统的可靠性直接影响到现代化工业生产装置安全、稳定运行。仪表误报是造成工厂频繁停车及意外事故的一个重要原素。本文研究了基于模糊逻辑的故障检测诊断系统在锅炉上的运用，阐述了模糊逻辑的隶属度求取、模糊规则以及故障变量估计值求取的原理和方法。采用SimACS建立高压燃油锅炉系统工厂仿真模型，构建通过OPCserver传输仿真工厂数据网络，并采用基于模糊逻辑故障检测诊断方法的软件结合锅炉基本工艺知识对锅炉仪表在线进行故障检测与诊断测试。以锅炉饲水量和除氧器出水温度为例，验证了基于模糊逻辑的故障检测诊断方法的及时性、有效性以及基本方程基本能够反映仿真锅炉系统稳定运行情况，并讨论了该诊断方法所需的基本方程成立的必要条件。

本文讨论的基于模糊逻辑故障检测诊断方法能够即时告知生产过程之仪表故障，帮助工艺人员分析判断，以采取正确的纠正措施，减小工业生产中的停车和避免因误判而发生生产事故。

**关键词：**模糊逻辑；锅炉；仪表；故障检测与诊断；隶属度。

---

## Abstract

The dependability of the sensors and control system influences directly equipment safety and running smoothly on modern industry. The sensor's wrong action is a factor caused constant "nuisance tripping" of the plant and accident. This paper studies fault detection and diagnosis based on Fuzzy Logic to be used on boiler. It introduces the principles and method about fuzzification, Fuzzy rule and estimation variable value. It adopts SimACS software to simulate high pressure oil firing boiler system, and establishes plant data transport net through OPC server. Using the software based on Fuzzy logic for fault detection and diagnosis of the boiler sensors on line combined with the boiler process acknowledge. It illustrated by the cases of the boiler feed water flow rate and the deaerator water outlet temperature, inspects and verifies the timeliness and validity of this fault detection and diagnosis based on Fuzzy Logic, and the primary models reflect the running situation of the simulation boiler system in stable states, and at the end discusses the necessary condition for the primary models needed by this method.

This method discussed by this paper is able to inform sensor fault in time, help technologists to analysis and judgement, in order to use correct treatments, eliminate shut down and avoid the accidents caused by miscalculation.

**Key words: Fuzzy logic; boiler; sensor; fault detection and diagnosis; Fuzzy Membership;**

---

# 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
第一章 绪论.....	1
1.1 背景说明.....	1
1.2 本文的主要工作.....	4
1.3 本章小结.....	4
第二章 基于模糊逻辑的故障检测与诊断分析理论.....	5
2.1 故障检测与诊断概述.....	5
2.2 模糊逻辑、模糊推理.....	6
2.3 基于模糊逻辑的故障检测诊断.....	8
2.3.1 残差产生和故障决策.....	8
2.3.2 隶属度确定.....	8
2.3.3 模糊规则 <sup>[12]</sup> .....	10
2.3.4 诊断结果输出.....	12
2.4 本章小结.....	12
第三章 锅炉系统工艺流程.....	13
3.1 锅炉工艺流程.....	13
3.1.1 锅炉汽水系统.....	13
3.1.2 锅炉燃烧系统.....	14
3.1.3 锅炉烟气系统.....	14
3.2 锅炉仿真系统.....	15
3.2.1 操作假设.....	15
3.2.2 过程变量设定.....	15
3.2.3 主要设备及仪表、控制系统及紧急停车系统.....	16
3.2.4 仿真系统数据传输.....	17
3.3 本章小结.....	17
第四章 故障分析诊断软件.....	19



4.1 软件简介.....	19
4.2 系统构架.....	19
4.3 软件结构.....	19
4.3.1 制程状态辨识模块.....	21
4.3.2 仪表可信度以及故障预测分析.....	21
4.3.3 制程统计分析控制.....	22
4.4 本章小结.....	23
<b>第五章 锅炉系统仪表故障检测诊断.....</b>	<b>24</b>
5.1 基本工艺方程.....	24
5.2 二次方程.....	26
5.3 测试实例.....	26
5.3.1 制程状态判定.....	27
5.3.2 仪表故障诊断分析.....	28
5.3.2.1 故障诊断分析 1.....	28
5.3.2.2 故障诊断分析 2.....	30
5.3.2.3 故障诊断分析 3.....	32
5.4 测试结论.....	34
5.5 本章小结.....	34
<b>第六章 总结与展望.....</b>	<b>36</b>
<b>附录.....</b>	<b>38</b>
仿真锅炉系统主要设备及仪器.....	38
锅炉紧急停车系统逻辑.....	38
锅炉控制系统策略.....	39
锅炉系统工艺流程图.....	40
<b>参考文献.....</b>	<b>41</b>
<b>致 谢.....</b>	<b>43</b>

---

# CONTENTS

<b>Abstract.....</b>	<b>II</b>
<b>Chapter 1 Exordium .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introduction.....	1
1.2 Main Studies .....	4
1.3 Summary .....	4
<b>Chapter 2 Fault Detection and Diagnosis Theory Based on Fuzzy Logic .....</b>	<b>5</b>
2.1 Fault Detection and Diagnosis Introduction .....	5
2.2 Fuzzy Logic .....	6
2.3 Fault Detection and Diagnosis Theory Based on Fuzzy Logic.....	8
2.3.1 Determination method of Fuzzy Membership .....	8
2.3.2 residual generation and Decision .....	8
2.3.3 Fuzzy Rules.....	10
2.3.4 Estimation variable value.....	12
2.4 Summary .....	12
<b>Chapter 3 Bioler System Process .....</b>	<b>13</b>
3.1 Process .....	13
3.1.1 Boiler Steam/Water System .....	13
3.1.2 Boiler Combustion System .....	14
3.1.3 Boiler Flue System.....	14
3.2 Simulation of Bioler System.....	15
3.2.1 Operation Assumption .....	15
3.2.2 Process Variable Setpoint.....	15
3.2.3 Main Equipment&Instrument,Control System and ESD.....	16
3.2.4 Transmission of the Digital.....	17
3.3 Summary .....	17
<b>Chapter 4 Fault AnaLysis Software via Engineering Equation Residuals .....</b>	<b>19</b>
4.1 Software Introduction .....	19
4.2                      Framework .....	19
4.3 Software Framework .....	19

---

4.3.1 Process State Identification.....	21
4.3.2 Sensor validation and Predictive Fault Analysis.....	21
4.3.3 Virtual Statistical Process Control .....	22
4.4 Summary .....	23
<b>Chapter 5 Fault Detection and Diagnosisin on Bioler System .....</b>	<b>24</b>
5.1 Primary Residual Process Model.....	24
5.2 Secondary Residual Process Model.....	26
5.3 Testion.....	26
5.3.1 State ID .....	27
5.3.2 Sensor fault detection and diagnosis.....	28
5.3.2.1 Test Case1 .....	28
5.3.2.2 Test Case2 .....	30
5.3.2.3 Test Case3 .....	32
5.4 Test Conclusion.....	34
5.5 Summary .....	35
<b>Chapter 6 Conclusions and Expectation.....</b>	<b>36</b>
<b>Appendix.....</b>	<b>38</b>
<b>References.....</b>	<b>40</b>
<b>Acknowledgement .....</b>	<b>42</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 背景说明

随着现代工业及科学技术的迅速发展,生产规模日趋大型化、复杂化、自动化和智能化,作为全厂动力和热源的锅炉亦向着大容量,高参数,高效率方向发展。联合工厂结构复杂、参数众多,运行维护问题日益突出,运行的安全性与高效性成为人们关注的重要问题。这些大型设备,一旦发生故障而没有及时发现和排除,轻则引起生产运行效率下降,重则引起故障停机,影响正常生产,更严重的导致灾难性后果。锅炉是过程工业中不可缺少的动力设备,锅炉的问题尤为突出。以电力部门的统计,全国大容量发电机组因锅炉故障引起的非计划停机时间占总非计划停机时间的比例平均超过 40%<sup>[1]</sup>。可以说,锅炉的安全稳定经济运行关系到整厂生产的稳定和经济性,加之锅炉本身属于高温高压之装置,为确保安全及稳定生产,对其控制系统的安全性、可靠性和有效性要求也越来越高。

一方面,在工业生产过程存在许多内在的风险,设备及感测器的故障或操作条件不当都会导致异常状况的发生。被控对象的某部分器件失效、容器或管道的漏堵现象;仪表器件故障,包括检测元件、变送器、执行器、连接管线、控制装置和计算机借口的故障;计算机诊断程序和控制程序的故障都可能导致控制系统的故障,甚至可能引起爆炸。

另一方面,现代联合工厂系统是极其复杂的,测点通常数以百计甚至上千,其监测与控制相当困难。操作人员面对生产过程采集的大量生产运行资料,不但要监控调整生产运行参数,还要处理异常状况,但是往往故障并不与所测量的点相对应,大多数情况会引起多个测量点的报警,或者由于长距离传输,信号受到干扰产生误报警。面对这些参数的变化,特别是同时出现的多个报警,要及时判断属于制程的异常还是仪表故障,是否需要计划外停车,或者降量生产等是相当困难的。

这一方面故障判断与处理主要依赖于人员的经验,对操作人员的素质要求较高,另一方面也对故障自动诊断系统开发提出了更高的要求。希望通过这种故障

诊断系统,可根据采集到的各测点数据,经推理及分析找到故障源,辅助运行人员确定故障并找到排除故障的方法,以提高系统运行的安全性和高效性<sup>[2]</sup>。

故障诊断理论从上世纪 70 年代的用解析冗余替代硬化冗余,并通过系统的自组织使系统闭环稳定,比较观测器的输出得到系统故障信息的新思想,到一些简单故障算法,如广义似然比和极大似然比,至 80 年代随着传感技术和信号处理技术的发展,故障诊断方法主要基于观测器法或者系统辨识和参数估算法。故障检测与诊断技术经过最近几十年的发展,已经成为一门涉及多个领域的综合学科。运用领域也从航天、船舶、发电厂、核电站等发展到工业、通讯、医疗等各个领域。

针对工业生产过程的内在风险,故障诊断的内容可以包括全厂诊断、区域诊断、系统诊断、仪表和设备诊断等几个方面。故障诊断方法也多种多样,基于故障树,案例,模型,模式识别,专家系统,模糊理论,神经网络等。由于故障的多样性和复杂性,决定了用一种诊断方法不能解决所有问题,不同的故障内容诊断方法也各不相同,各种诊断方法各有利弊,许多混合型的诊断方法也层出不穷并且迅速发展起来。

在总结一般大型设备故障特点的基础上,结合锅炉设备本身的工况复杂和故障类型繁多等特点,大致可归纳出锅炉的几个故障特点<sup>[3]</sup>:

1) 层次性:这是任何设备最基本的故障特性,其结构都可以分为系统、子系统、单元、物理元件等,任何故障都是与设备的某一层次相关联的,高层次的故障是由低层次的故障引起的,例如锅炉水位计不正确指示,给水阀自动调节装置失灵都可能造成缺水事故。

2) 延时性:一般来说,从原发性故障到系统级故障的发生、发展与形成,是一个由量变到质变的过程,即故障具有延时性。故障的延时性是实现故障的预测与早期诊断的基础。锅炉受热面管子破裂是最为常见和严重的事故,从管子破裂到汽包液位下降到警报值会有一定延时,只要在系统内相应的输出、特征信号或征兆尚未超出允许的范围之前,测出这些变化,并且获得这些变化的规律,就可能由此作出有关系统、参数或联系的当前状态、状态趋势与未来状态的判断。

3) 相关性:任何一个原发性故障都存在多条潜在的故障传播途径,因而可

能引起多个故障同时存在。故障与征兆往往不单一对应，某一个故障可能对应多个征兆，错综复杂，是故障诊断的难点。

4) 不确定性：锅炉设备的故障问题往往不仅有性质的概念，还有度与量的关系，因此不能单纯的以“故障”和“正常”来表达，故障征兆往往随机发生。

国内外锅炉故障诊断系统的研究和应用已经进行了一些试制，也取得了一些成果。在国外火电设备诊断技术研究起步较早，近期又有很大发展。美国与日本是较早研制电站锅炉故障诊断专家系统的国家，80年代，三菱重工就研制出用于汽轮发电机组故障诊断的专家系统和锅炉故障诊断专家系统。90年代初，日立公司研制出指导火电厂运行和维护的指导专家系统<sup>[4]</sup>。还有日本北海道电力公司开发的燃煤火力发电厂运行支援系统，其作用就是寻找运行过程的最佳控制参数，提高机组运行的经济，提供实现机组运行状态稳定和恢复原来运行工况的操作指导<sup>[5]</sup>。世界知名公司 Emerson 的产品 AMS<sup>TM</sup> Suite 智能设备管理系统中仪表状态监测及诊断和机械设备性能监测尝试运用在锅炉领域上，GE 最近也宣布推出基于 PAC8000 控制器的 Proficy Process Systems 锅炉先进控制解决方案。

国内故障诊断研究工作是从 70 年代末、80 年代初开始的。尽管起步较晚，但近年来发展非常迅速，许多高校和研究机构都开展了故障诊断与预测技术的研究，并取得了不少成果。清华大学的李德英等人以 300MW 电站锅炉为研究对象，通过仿真与实践相结合，建立了远程状态检测与故障诊断系统，其故障诊断系统根据锅炉运行状态监测情况，确定锅炉系统运行中出现的故障征兆，采用深浅知识相结合的混合诊断推理机制，分析诊断锅炉系统在运行过程中可能出现的各种故障，如炉膛灭火、过热器爆管、省煤器磨损、泄漏等常见故障，并通过远程传输进行远程监测诊断<sup>[6]</sup>。

锅炉系统的测量点众多，相互关联，虽然从原发性到系统性事故具有延时性，但是长期以来故障识别都要依靠技术人员的经验判断，很难对控制系统给出的数据作出及时的判断，因此错失及时排除小故障的良机。故我的课题将运用锅炉工艺流程的深知识，结合模糊推理故障诊断方法对锅炉系统仪表故障进行检测诊断，以判断出现的故障警报是由仪表故障还是由制程异常引起，以帮助制程人员分析问题找出原因，减少不必要的非计划性停车。

## 1.2 本文的主要工作

本文将研究阐述基于深知识的方法以领域专家和操作者的启发性经验知识为核心，运用统计分析手段以及模糊逻辑的残差评价诊断方法，通过残差来求算故障原因的隶属度，对锅炉系统仪表进行监测及故障分析诊断原理。运用

软件以锅炉系统工艺流程模型为基础，针对锅炉系统过程的稳态情况，对锅炉系统进行工况监控，同时对仪表和制程的异常状况进行检测，根据所能获得的各项测量点情况，分析判断，即时预警故障 TAG，找出故障原因，协助操作员作出正确操作指令，从而避免非计划性的停炉，减少生产事故发生。

同时模拟关键仪表故障，进行测试，证明该故障检测方法诊断的快速、有效，能够自动判断仪表系统故障点并给出估计值，以减少不必要的停车及紧急停车后的停车时间，并能更好的控制产品质量和效率。

本文的主要工作：

1. 对锅炉的工艺流程进行模拟，使用SimACS建立虚拟工厂模型，并构建工厂数据传输网络，为整个模块提供测试环境。
2. 根据锅炉的工艺流程建立工艺基本方程，以及确定跟踪TAG的标准操作工况等。
3. 通过给出错误之仪表信号，运用 软件在线测试所建立之模型分析判断的准确性。
4. 针对测试结果，对基本工艺方程的建立条件进行讨论。

## 1.3 本章小结

本章介绍了论文的背景和意义，锅炉系统故障的特点，该领域国内外的发展情况，最后介绍了本文研究内容及主要工作。

## 第二章 基于模糊逻辑的故障检测与诊断分析理论

### 2.1 故障检测与诊断概述

随着石油化工工业的迅速发展,装置规模越来越大型化、连续化,加之化工过程具有易燃、易爆、高温、高压、有毒、有害、有腐蚀等特点,生产过程中稍有失误将会酿成灾难性事故,造成生产、设备、人员等多方面不可挽回的重大损失,一般大型装置停车一天的经济损失可达数百万元,人们总希望生产过程能长期地安全、可靠、无故障地运行。这就对控制系统的安全性、可靠性和有效性也提出了越来越高的要求,系统的安全可靠性已成为衡量系统品质的主要指标,因此故障检测与诊断技术也愈来愈受到重视。

故障检测与诊断是发展与上世纪中叶的一门科学技术,涉及机械工程、测试技术、信号处理、现代控制理论、数理统计、模糊集理论、软件工程和工业应用等领域。

故障检测与诊断的任务是识别是否存在故障,故障位置及处理措施。由低到高可分为四个方面的内容:<sup>[7]</sup>

1. 故障建模 按照先验信息和输入输出关系,建立系统故障的数学模型,作为故障检测与诊断的依据。
2. 故障检测 从可测或不可测的估计变量中判断运行的系统在某一时刻是否发生故障,一旦系统发生意外变化,已发出报警。
3. 故障的分离与估计 如果系统发生了故障,给出故障源的位置,区别出故障原因是执行器、传感器和被控对象等或是特大扰动。故障估计是在弄清故障性质的同时,计算故障的程度、大小及故障发生的时间等参数。
4. 故障的分类、评价与决策 判断故障的严重程度,以及故障对系统的影响和发展趋势,针对不同的工况提出相应的措施和方法,包括软件补偿和硬件替换,来抑制和消除故障的影响,使系统恢复到正常工况。

近十几年故障诊断技术迅速发展,已形成基于知识的方法、基于解析模型的方法、基于信号处理的方法和基于离散事件等各种故障诊断方法。基于解析模型的方法最早发展起来,此方法需要建立被诊断对象的较为精确的数学模型。它主要利用系统可测量的运行信息和系统的数学模型所提供的先验知识所规定系统的



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库